

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПАРЕНИЯ ИЗОТОПОВ С ПОВЕРХНОСТИ
НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

И.В. Банников, Д.М. Хорохорин

Научный руководитель - В.Ф. Мышкин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: dmh1@tpu.ru

Известно, что поверхность любого твердого тела «химически» активна из-за наличия неспаренных электронов. Поэтому все поверхности сорбируют атомы и молекулы и притягивают твердые наночастицы других материалов.

Очистку поверхности твердых тел от сорбированных молекул газа возможна лишь при нагреве в вакууме. Традиционным методом очистки поверхности от дисперсных частиц является мытье с помощью растворов поверхностно-активных веществ. Однако, не все конструкционные элементы возможно окунать в раствор или протирать раствором. Поэтому цель исследований – поиск оптимальной интенсивности лазерного излучения, позволяющей испарять с поверхности наночастицы оксида урана и незначительно влияющей на целостность обрабатываемой поверхности.

Процессы, протекающие на поверхности, определяются балансом поглощаемой энергии и потерей тепла за счет теплопроводности поверхности, теплового излучения, уносом тепла паром. Рассмотрим некоторые явления. Эффективность поглощения твердыми телами энергии лазерного излучения определяется мнимой частью показателя преломления. При этом излучательные потери тепла определяются температурой поверхности и коэффициентом черноты. Потеря тепла наночастицами за счет теплопроводности определяется площадью контакта с поверхностью объемного тела и не является преобладающей. Также необходимо учитывать возможность экранирования подводимой лазерной энергии облаком пара, образующимся из материала наночастицы.

Выполняли расчет теплового баланса наночастицы, находящейся на гладкой плоской поверхности металла. Известно, что мнимая часть показателя преломления объемного твердого тела, а поэтому и эффективность поглощения лазерного излучения определяются длиной волны. Для расчета теплопередачи поверхности твердого тела используется коэффициент черноты. Формула для поглощаемой и излучаемой поверхностью твердого тела энергии

$$E_1 = I \varepsilon S \Delta t,$$

где I – интенсивность лазерного излучения, S – площадь лазерного пятна, ε - степень черноты.

Энергия, поглощаемая наночастицей

$$E_2 = I \sigma s \Delta t,$$

где σ - фактор эффективности взаимодействия излучения с наночастицей, s - площадь сечения частицы, Δt – длительность импульса.

Считая, что излучение поглощается в слое $\lambda/3$, где λ - длина волны лазерного излучения, температура, до которой разогревается металл после одного импульса

$$\Delta T_1 = \frac{3E_1}{\rho_1 S \lambda c_1},$$

где ρ - плотность, c – удельная теплоемкость металла. Аналогично для наночастицы

$$\Delta T_2 = \frac{3E_2 \pi^{2,5}}{4\rho_2 c_2 s^{3,5}},$$

Необходимым условием является нагрев металла ниже температуры плавления, а энергия, поглощаемая наночастицей должна быть достаточна для её нагрева до температуры кипения и полного испарения. При проведении оценочных расчетов, при использовании лазерных импульсов длительностью менее 10^{-6} с, потерями энергии за счет теплопроводности можно пренебречь.

В докладе приводятся анализ данных о температурах Zr, Sc, Ni, Cd, а также частиц оксидов урана и плутония на длинах волн серийно выпускаемых лазеров при различных интенсивностях лазерного излучения. Анализируются методы удаления паров материала наночастиц, предотвращающих повторное загрязнение.